

**DE 197 45 392.9**

**ABSTRACT**

**5 "Sound reproduction apparatus"**

The sound reproduction apparatus includes a control unit (1) which can receive at least one additional signal to the audio signals. The unit which can receive the additional signal identifies the value of a position variable in a two or three  
10 dimensional space. The position variable is assigned to an input channel or a group of input channels and represents a reference point for the position of a virtual sound source when reproduction is carried out. Signals which control loudspeakers (5.1-5.13) are generated on the input channels assigned to a position variable dependent on the position variable value and the audio signals.  
15 The impression of a virtual sound source or virtual sound source group is generated for a listener. The virtual sound source has the orientation according to the position variable.



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 45 392 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 04 S 3/00**

⑳ Aktenzeichen: 197 45 392.9  
㉔ Anmeldetag: 14. 10. 97  
㉕ Offenlegungstag: 28. 5. 98

DE 197 45 392 A 1

⑥⑤ Innere Priorität:  
196 42 367. 8 14. 10. 96

⑦① Anmelder:  
Sotirov, Sascha, 60437 Frankfurt, DE; Mauermann,  
Marc André, 63128 Dietzenbach, DE

⑦④ Vertreter:  
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209 Bremen

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Der Inhalt dieser Schrift weicht von dem am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

⑤④ Tonwiedergabevorrichtung und Verfahren zur Tonwiedergabe

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Tonwiedergabevorrichtung, welche eine Einrichtung zum Empfangen von elektrischen Signalen mit akustischer Information auf mehreren Eingangskanälen, mehrere Lautsprecher zur Tonwiedergabe und eine Steuereinrichtung zum Ansteuern der Lautsprecher aufweist, wobei die Steuereinrichtung eine Einrichtung zum Empfangen zumindest eines Signals zusätzlich zu den Audiosignalen aufweist, welches den Wert einer Positionsvariablen in einem zwei- oder dreidimensionalen Raum angibt, die einem Eingangskanal oder einer Gruppe von Eingangskanälen zugeordnet ist und einen Bezugspunkt für die Position einer virtuellen Schallquelle bei der Wiedergabe darstellt, und in Abhängigkeit von dem Wert der Positionsvariablen und den Audiosignalen auf den dieser Positionsvariablen zugeordneten Eingangskanälen Signale zur Ansteuerung der Lautsprecher derart erzeugt, daß für einen Zuhörer der Eindruck einer virtuellen Schallquelle oder einer Gruppe von virtuellen Schallquellen erzeugt wird, deren scheinbare Lage dem Wert der Positionsvariablen entspricht. Die Erfindung betrifft außerdem zugehörige Verfahren zur Tonaufzeichnung und zur Tonwiedergabe.

DE 197 45 392 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Tonwiedergabe sowie ein Verfahren zur Herstellung und Wiedergabe von Tonaufzeichnungen.

Bei bekannten Verfahren der Tonaufzeichnung wird der Ton mehrerer Klangkörper, z. B. von Instrumenten oder einer Musikgruppe, insgesamt aufgezeichnet, wobei der von allen Klangkörpern gemeinsam erzeugte Ton an mehreren Stellen im Raum durch Mikrophone aufgenommen wird, die verschiedenen Kanälen einer Tonaufzeichnung entsprechen. Ebenso ist es bekannt, eine Tonaufzeichnung eines bestimmten Klangkörpers, z. B. eines Sängers, unabhängig von dessen Begleitung herzustellen und in einer Aufzeichnung eines Gesamtwerks bzw. bei der Wiedergabe diese Aufzeichnung mit einer weiteren Aufzeichnung oder life erzeugten Signalen zu überlagern.

Bei den herkömmlichen Wiedergabeverfahren erhält das Wiedergabegerät auf verschiedenen Kanälen die Informationen bezüglich der von den einzelnen Lautsprechern abzugebenden Schallsignale, wobei jedem Lautsprecher ein Kanal der Aufzeichnung zugeordnet ist. Durch das Zusammenwirken der Schallsignale aller Lautsprecher entsteht dabei für den Zuhörer der Eindruck mehrerer im Raum verteilter virtueller Schallquellen. Diese räumliche Verteilung ist jedoch durch die Signale auf den verschiedenen Kanälen vorgegeben. Durch eine Änderung der Gewichtung der Signale der einzelnen Lautsprecher kann zwar der räumliche Eindruck verändert werden, z. B. im einfachsten Fall durch eine unterschiedliche Änderung der Lautstärke der einzelnen Lautsprecher. Damit wird jedoch die virtuelle Position aller Schallquellen in der gleichen Weise verändert. Beispielsweise kann bei der Wiedergabe eines Orchesterstücks die virtuelle Position des ganzen Orchesters (z. B. von rechts nach links oder umgekehrt) verlagert werden, nicht aber die Position einzelner Instrumente oder Instrumentengruppen, z. B. die Bläser oder die Streicher.

Nach dem Stand der Technik ist man bei der Wiedergabe an die räumliche Anordnung der einzelnen (virtuellen) Klangkörper bei der Aufzeichnung gebunden ist, die keineswegs für die Verhältnisse bei der Wiedergabe optimal sein muß. Es besteht insbesondere keine Möglichkeit, die einzelnen virtuellen Klangkörper optimal an den Wiedergaberaum anzupassen.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine Tonwiedergabevorrichtung sowie Verfahren zum Aufzeichnen und Wiedergeben von Tonsignalen zur Verfügung zu stellen, welche eine weitergehende individuelle Anpassung der Tonwiedergabe an die Bedürfnisse des Zuhörers, insbesondere an die akustischen Verhältnisse des Wiedergaberaumes ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Tonwiedergabevorrichtung zum Empfangen von elektrischen Signalen mit akustischer Information, im folgenden Audiosignale genannt, auf mehreren Eingangskanälen gelöst, welche mehrere Lautsprecher zur Tonwiedergabe und eine Steuereinrichtung zum Ansteuern der Lautsprecher aufweist, wobei die Steuereinrichtung eine Einrichtung zum Empfangen zumindest eines vorzugsweise digitalen Signals zusätzlich zu den Audiosignalen aufweist, welches den Wert einer (vorzugsweise zwei- oder dreidimensionalen) Positionsvariablen angibt, die einem Eingangskanal oder einer Gruppe von Eingangskanälen zugeordnet ist und einen Bezugspunkt für die Position einer virtuellen Schallquelle bei der Wiedergabe darstellt, und in Abhängigkeit von dem Wert der Positionsvariablen und den Audiosignalen auf den dieser Positionsvariablen zugeordneten Eingangskanälen Signale zur Ansteuerung der Lautsprecher erzeugt, derart,

daß für einen Zuhörer der Eindruck einer virtuellen Schallquelle oder einer Gruppe von virtuellen Schallquellen erzeugt wird, deren scheinbare Lage dem Wert der Positionsvariablen entspricht.

Hierbei kann auf die in der Stereophonie allgemein bekannten Prinzipien zum Erzeugen eines räumlichen akustischen Eindrucks zurückgegriffen werden, wobei insbesondere die Phase und/oder der Pegel der Ansteuersignale für die einzelnen Lautsprecher gegenüber dem Signal des Eingangskanals in Abhängigkeit von dem Wert der Positionsvariablen verändert werden können, um eine scheinbare Wiedergabe an dem durch Positionsvariable angegebenen Ort zu erzeugen. Die Zuordnung der Pegel- und/oder Phasenänderung der Signale für die einzelnen Lautsprecher zu einer bestimmten Raumposition erfolgt vorzugsweise anhand einer abgespeicherten Zuordnungstabelle, welche die entsprechenden Zuordnungen für ausgewählte Raumpunkte enthält, die ggf. interpoliert werden können. Diese Tabelle kann empirisch durch entsprechende Messungen im Wiedergaberaum oder durch Berechnungen mit einem mathematischen Modell erstellt werden.

Zur Erzielung von räumlich und/oder zeitlich variierenden akustischen Effekten kann auf die bekannten Verfahren zur Fouriersynthese zurückgegriffen werden, also die Darstellung räumlich und/oder zeitlich variierender Funktionen durch räumlich bzw. zeitlich periodisch oszillierende Funktionen.

Der scheinbare Ort der virtuellen Schallquelle muß nicht notwendigerweise bei den durch die Positionsvariable angegebenen Koordinaten liegen. Wichtig ist vielmehr, daß er in einer festen Beziehung zu dem Wert dieser Variablen steht, so daß er sich bei einer Änderung des Werts dieser Variablen ebenfalls ändert.

Die Positionsvariable gibt vorzugsweise eine Position in einem zwei- oder dreidimensionalen kartesischen Raum an, kann dabei aber auf eine durch einen Parameter charakterisierte Werteschar begrenzt sein, die z. B. eine Kreisbahn mit festem Radius beschreiben kann. Vorzugsweise ist sie jedoch in zwei oder drei Dimensionen frei veränderlich.

Die Erfindung kann dabei insbesondere vorsehen, daß die Steuereinrichtung die Lautsprecher derart ansteuert, daß ein Ansteuersignal zumindest auf einem der Ausgangskanäle zu einem der Lautsprecher von den Signalen auf mehreren Eingangskanälen abhängt.

Dabei kann die Steuereinrichtung eine Mischvorrichtung aufweisen, welche die in Abhängigkeit von einer Positionsvariablen erzeugten Signale zur Ansteuerung der einzelnen Lautsprecher mit weiteren Ansteuersignalen für diese Lautsprecher mischt, wobei diese zusätzlichen Signale auch Signale für eine herkömmliche Tonwiedergabe, z. B. für einen ortsfesten akustischen Hintergrund, sein können, die direkt von einem Aufzeichnungsmedium eingelesen werden.

Erfindungsgemäß kann weiterhin vorgesehen sein, daß die Steuereinrichtung für jede von mehreren Positionsvariablen jeweils eine Gruppe von Ansteuersignalen für die individuellen Lautsprecher erzeugt, welche von dem Wert dieser Positionsvariablen sowie den Audiosignalen auf dieser Positionsvariablen jeweils eindeutig zugeordneten Eingangskanälen abhängen, und eine Mischvorrichtung für jeden Lautsprecher die diesem Lautsprecher zugeordneten Ansteuersignale jeder Gruppe derart überlagert, daß für den Zuhörer der Eindruck von mehreren virtuellen Schallquellen oder Gruppen von Schallquellen entsteht, deren Position jeweils dem Wert einer der Positionsvariablen entspricht.

In einer Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß zumindest einer Positionsvariablen eine Gruppe von Eingangskanälen mit Audiosignalen zugeordnet ist, wobei die Steuereinrichtung jedem der Eingangskanäle eine

vorab festgelegte Relativkoordinate zuordnet, welche eine Position relativ zu dem durch die Positionsvariablen angegebenen Ort angibt, und auf der Grundlage der Positionsvariablen, der den Kanälen zugeordneten Relativkoordinaten und den Audiosignalen auf den entsprechenden Eingangskanälen Ansteuersignale für die einzelnen Lautsprecher derart erzeugt, daß für den Zuhörer der akustische Eindruck einer Gruppe von mehreren virtuellen Schallquellen in einer festen räumlichen Beziehung entsprechend den vorgegebenen Relativkoordinaten entsteht, deren Lage insgesamt dem Wert der Positionsvariablen in der Weise entspricht, daß der Wert der Positionsvariablen den Bezugspunkt der Gruppe von virtuellen Schallquellen bildet, auf den sich die Relativkoordinaten beziehen. Auf diese Weise ist es möglich, eine Gruppe von Klangkörpern scheinbar durch den Raum zu bewegen oder durch "virtuelle Lautsprecher" eine Tonwiedergabe an einem bestimmten Punkt im Raum zu erzeugen, ohne an die konstruktiven Beschränkungen realer Lautsprecher gebunden zu sein.

Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, daß die Steuereinrichtung aus dem Signal eines Eingangskanals Ansteuersignale für verschiedene Lautsprecher erzeugt, deren Pegel und/oder Phase gegenüber dem Wert des Eingangssignals verändert ist, um eine räumliche Wiedergabe der virtuellen Schallquelle entsprechend dem Wert der zugehörigen Positionsvariable zu erzeugen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann eine Einrichtung zum Einlesen des Werts einer Positionsvariablen von einem Aufzeichnungsmedium aufweisen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann weiterhin eine Einrichtung zum interaktiven Eingeben des Werts einer oder mehrerer Positionsvariablen durch einen Benutzer aufweisen.

Erfindungsgemäß kann weiterhin vorgesehen sein, daß die Steuereinrichtung die Frequenz bzw. die Grundfrequenz des einer bestimmten virtuellen Schallquelle zugeordneten Anteils der von den Lautsprechern abgegebenen akustischen Signale in Abhängigkeit von der zeitlichen Änderung des Wertes der zugehörigen Positionsvariable verändert, so daß z. B. die Frequenz in Abhängigkeit von der "Geschwindigkeit" der virtuellen Schallquelle ab- oder zunimmt.

Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, daß die Ansteuerung der Lautsprecher in Abhängigkeit von den Signalen eines Sensors für die Position eines Zuhörers erfolgt. Bekanntlich hängt der bei einer bestimmten Lautsprecherkonfiguration erzeugte Raumeindruck von der Position des Zuhörers ab. Durch das Erfassen der Zuhörerposition kann die Ansteuerung des Zuhörers bei fest vorgegebenem Wert der Positionsvariablen optimal auf die aktuelle Position des Zuhörers abgestimmt werden.

Ergänzend oder alternativ kann jedoch auch vorgesehen sein, daß der Wert der Positionsvariablen selbst von der festgestellten Position des Zuhörers abhängt, so daß das System auf Bewegungen des Zuhörers reagiert, z. B. in der Form, daß die virtuelle Schallquelle bei einer Annäherung des Zuhörers an ihren fiktiven Ort "ausweicht". Der Wert der Positionsvariablen kann auch an weitere Meßgrößen gekoppelt sein, z. B. an die Lautstärke im Raum, an das Auftreten bestimmter akustischer Frequenzen etc. Umgekehrt können weitere Effekte oder die Ansteuerung von sonstigen Anlageanteilen von dem Wert einer Positionsvariablen abhängen, z. B. kann die Orientierung von Scheinwerfern an die Position einer fiktiven Schallquelle gekoppelt sein. Der Ort der virtuellen Schallquelle kann erfindungsgemäß auch an den Ort einer oder mehrerer visueller Bildprojektionen gekoppelt sein. Beispielsweise kann ein Vorführungsraum dafür eingerichtet sein, an verschiedenen Stellen Bildprojektionen, insbesondere auch holographische Bildprojektionen, zu

erzeugen, wobei eine bestimmte Bildprojektion dann gleichzeitig mit einer Verlagerung des scheinbaren Orts der virtuellen Schallquelle an den Projektionsort aktiviert wird, so daß insgesamt nicht nur ein akustischer, sondern auch ein visueller Eindruck einer virtuellen Schallquelle erzeugt wird. Durch Verlagern des Projektionsortes, etwa durch Bewegen eines Projektors oder, bei einer computergesteuerten Bildprojektion, durch interaktives Verschieben eines Bildelements, können unter gleichzeitiger entsprechender Verlagerung des scheinbaren Orts der virtuellen Schallquelle auch bewegte visuell und akustisch wahrnehmbare Objekte simuliert werden.

Übliche Show- oder Verzerrungseffekte, z. B. die Veränderung der Wiedergabegeschwindigkeit oder die Veränderung der Tonhöhe, können erfindungsgemäß getrennt für jede virtuelle Schallquelle oder jede Gruppe von virtuellen Schallquellen angewendet werden.

Es kann weiterhin vorgesehen sein, daß sich mehrere Lautsprecher auf den Grenzflächen eines imaginären dreidimensionalen Körpers befinden. Dabei können die Lautsprecher akustische Signale sowohl in Richtung in das Innere des imaginären Körpers als auch zu dessen Außenseite hin abgeben.

Die Erfindung stellt weiterhin ein Verfahren zur Tonwiedergabe zur Verfügung, bei welchem von einem Tondatenträger Audiosignale sowie Daten betreffend die Position zumindest einer virtuellen Schallquelle eingelesen werden und eine Ansteuerung von mehreren in einem Wiedergaberaum verteilten Lautsprechern in Abhängigkeit von den Audiosignalen und den Positionsdaten derart erfolgt, daß für einen Zuhörer der Eindruck einer virtuellen Schallquelle oder einer Gruppe von virtuellen Schallquellen erzeugt wird, deren scheinbare Position dem Wert der Positionsvariablen entspricht.

Dabei kann vorgesehen sein, daß zumindest aus einem ersten und einem zweiten elektronischen Audio-Eingangssignal jeweils Ansteuersignale für verschiedene Lautsprecher erzeugt werden, die jeweils von dem Wert einer dem ersten bzw. zweiten Eingangssignal zugeordneten ersten bzw. zweiten Positionsvariable derart abhängen, daß für einen Zuhörer der Eindruck von zwei virtuellen Schallquellen an zwei durch die Positionsvariablen festgelegten Positionen entsteht, wobei zumindest für einen Lautsprecher auf das erste und das zweite Eingangssignal zurückgehende Ansteuersignale zu einem kollektiven Ansteuersignal für diesen Lautsprecher kombiniert werden. Hierbei können natürlich noch weitere Eingangssignale entsprechenden Positionsvariablen zugeordnet sein und in analoger Weise verarbeitet werden. Wie bereits vorangehend erwähnt, können einer Positionsvariablen auch Gruppen von Audiosignalen zugeordnet sein.

Die Erfindung stellt weiterhin ein Verfahren zum Herstellen einer Tonaufzeichnung zur Verfügung, bei welchem auf einem Aufzeichnungsmedium zum einen Signale betreffend der wiederzugebenden Schallsignale einer Schallquelle und getrennt hiervon Daten hinsichtlich der Position der Schallquelle im Raum aufgezeichnet werden.

Dabei kann vorgesehen sein, daß die reale oder fiktive Position einer Schallquelle durch einen Positionssensor ermittelt wird und die aufgezeichneten Positionsdaten auf der Grundlage der Signale des Positionssensors erstellt werden. Ein derartiger Sensor kann z. B. aus einem Ultraschallsonder bestehen, dessen Signale von ortsfesten Detektoren im Raum aufgenommen werden, wobei die detektierten Signale zur Berechnung der Position des Senders verwendet werden. Ein solcher Sensor kann z. B. einem Sänger oder Instrumentalisten angeheftet werden, so daß seine Bewegungen beim Spielen mit aufgezeichnet werden. Ein Positionssensor kann

aber auch einem Double angeheftet werden, das sich stumm im Raum bewegt.

In einer Ausführungsform der Erfindung können die Positionsdaten unabhängig von einer realen Schallquelle erstellt werden.

Insbesondere können die Positionsdaten auf der Grundlage der Signale einer interaktiven Benutzerschnittstelle erstellt werden.

Weiterhin können die Schallsignale mehrerer Schallquellen unabhängig voneinander aufgezeichnet werden und jeweils zusammen mit Daten für die Position der jeweiligen Schallquelle im Raum in einer Weise abgespeichert werden, die das gleichzeitige Auslesen der den verschiedenen Schallquellen zugeordneten akustischen Informationen sowie der zeitlich zugehörigen Positionsdaten gestattet. Werden die Raumpositionsdaten unabhängig von der eigentlichen Tonaufzeichnung erstellt, wird deren Abfolge in einer Weise gespeichert, die ein synchrones Auslesen dieser Dateien zusammen mit den aufgezeichneten akustischen Signalen gestattet.

Erfindungsgemäß hängen die letztendlich von den Lautsprechern abgegebenen Signale von den Positionsvariablen derart ab, daß bei einer Änderung des Werts einer Positionsvariablen (bei gleichbleibendem Wert aller anderen Eingangsgrößen und -signale) eine Änderung der Ansteuerung der Lautsprecher erfolgt.

Zu den speziellen Effekten, die sich erfindungsgemäß realisieren lassen, gehört die Abhängigkeit der Wiedergabefrequenz von der zeitlichen Ableitung des Werts einer Positionsvariablen, beispielsweise zur Simulation eines Dopplereffekts. Hierbei wird in einer Simulation des realen Dopplereffekts der Ton an unterschiedlichen Stellen im Raum mit einer unterschiedlichen Grundfrequenz, die von der "Geschwindigkeit" der virtuellen Schallquelle im Raum und davon abhängt, ob sich der entsprechende Raumbereich, bezogen auf die Bewegungsrichtung der virtuellen Schallquelle, vor oder hinter der Position der virtuellen Schallquelle befindet, wiedergegeben. Hierbei kann der Effekt ausgenutzt werden, daß sich durch gegenläufige Phasenverschiebung in verschiedenen Raumbereichen eine Abschwächung bestimmter Frequenzen erreichen läßt.

Die Lautsprecher sind vorzugsweise an den Eckpunkten eines imaginären Parallelepipeds, beispielsweise eines rechtwinkligen Quaders oder Würfels, angeordnet, wobei im Zentrum einer oder mehrerer Flächen des Parallelepipeds weitere Lautsprecher angebracht sein können.

Während nach den herkömmlichen Verfahren bei der Aufzeichnung mehrere Tonkanäle erzeugt werden, die jeweils einem bestimmten Lautsprecher zugeordnet sind, findet erfindungsgemäß eine Zuordnung von Aufzeichnungskanälen zu einzelnen virtuellen Schallquellen, z. B. einem Klangkörper bzw. einer Gruppe von Klangkörpern statt, wobei die räumliche Position dieser Schallquelle in Form einer Koordinatenangabe festgehalten wird. Die Zuordnung zu den verschiedenen Kanälen der Lautsprecher findet erst auf der Wiedergabeseite statt. Dies ermöglicht es, die Ausgangssignale für die einzelnen Lautsprecherkanäle individuell auf die Konfiguration der Lautsprecher im Wiedergaberaum abzustellen, so daß ein koordinatengetreue Wiedergabe unabhängig von der Konfiguration dieser Lautsprecher möglich ist. Weiterhin ist es auch möglich, bei der Wiedergabe die räumliche Konfiguration der virtuellen Schallquellen frei zu gestalten. Es ist insbesondere gemäß einer bevorzugten Ausführungsform möglich, die Signale auf den Lautsprecherkanälen auf die aktuelle Position des Zuhörers abzustellen und dadurch den Raumeindruck noch weitergehend zu optimieren.

Die Erfindung eröffnet vielfältige Möglichkeiten für die

Komposition von elektronischer Musik, da der Raum als weitere Kompositionskomponente mit einbezogen werden kann. So kann eine sich durch den Raum auf eine bestimmte Weise bewegende Schallquelle simuliert werden, ohne daß man an die begrenzten Möglichkeiten der Bewegung einer tatsächlichen Schallquelle gebunden wäre. Beispielsweise läßt sich ohne weiteres der Eindruck von mehreren Schallquellen erzeugen, die sich auf einer beliebigen dreidimensionalen Bahn durch den Raum bewegen.

Andererseits besteht auch die Möglichkeit, bei der Wiedergabe direkt auf das Publikum zu reagieren. Auf diese Weise kann eine interaktive Musik komponiert werden, bei der die Schallquelle scheinbar auf Bewegungen des Zuhörers durch eine eigene Bewegung reagiert.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung, bei dem auf die beigegebenen Zeichnungen Bezug genommen wird.

Fig. 1 und 2 zeigen schematisch das Prinzip einer erfindungsgemäßen Wiedergabevorrichtung.

Fig. 3 zeigt schematisch die Komponenten einer Wiedergabevorrichtung.

Fig. 4 zeigt die Anordnung der Lautsprecher in einem Wiedergaberaum gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Aufnahmeverfahrens werden die Tonsignale jedes Klangkörpers getrennt aufgenommen und auf einem Tondatenträger, beispielsweise einem Tonband, einer CD oder dgl., jeweils in einem separaten Kanal abgespeichert. Gleichzeitig wird die Position des Klangkörpers über einen Positionssensor verfolgt und die Position des Klangkörpers zu jedem Zeitpunkt wird in Form von Koordinaten in einem normierten Raum festgelegt und gleichzeitig mit den Tonsignalen gespeichert. Beispielsweise kann das zugrundeliegende Koordinatensystem ein auf die Mitte des Raumes bezogenes rechtwinkliges Koordinatensystem mit den Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$  sein, wobei die Koordinatenwerte zwischen  $-1$  und  $1$  variieren.

Die Koordinaten können in jeder Form abgespeichert werden, welche die Rekonstruktion einer Bewegungsbahn im dreidimensionalen Raum ermöglicht. Beispielsweise können in regelmäßigen Zeitabständen die jeweiligen Koordinaten eingespeichert werden. Es ist aber auch möglich, den Anfangs- und Endpunkt einer Bewegung sowie die zugehörige Bewegungsdauer für die Simulation einer gleichförmigen Bewegung oder die Geschwindigkeit und die Dauer der Bewegung anzugeben. Selbstverständlich sind auch kompliziertere Speicher- und Rekonstruktionsmethoden, etwa die Speicherung einer Differentialgleichung und die Simulation ihrer Lösung bei der Wiedergabe, möglich.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Aufnahmeverfahrens bewegt sich der Klangkörper bei der Aufnahme nicht und die entsprechenden Positionsdaten werden unabhängig direkt als Daten abgespeichert, z. B. durch die direkte Eingabe von Positionskoordinaten oder durch die interaktive Simulation einer Bewegung in einem virtuellen Raum auf einem Bildschirm, z. B. durch einen Joystick oder Trackball. Beim Abspeichern der Positionsdaten werden Zeitmarken eingegeben, welche eine Synchronisation mit den aufgezeichneten akustischen Daten gestatten.

Weiterhin kann auch vorgesehen sein, daß mehrere verschiedene Gruppen von Klangkörpern, z. B. die Bläsergruppe und die Streichergruppe eines Orchesters, einzeln mit einem herkömmlichen Stereophonieverfahren aufgenommen werden und für jede Gruppe die Koordinaten eines Bezugspunktes, z. B. des linken vorderen Eckpunktes, gespeichert werden. Dabei wird der Ton in bekannter Weise an

verschiedenen Punkten im Raum durch Mikrophone aufgenommen und es werden mehrere Kanäle mit Audiosignalen erzeugt, die zusammen die räumliche Verteilung der einzelnen Klangkörper in der Gruppe festhalten und insgesamt einer Positionsvariablen zugeordnet sind. Bei dieser Art der Aufzeichnung erfolgt die Wiedergabe derart, daß der virtuelle Bezugspunkt einer Gruppe, also beispielsweise ihr scheinbarer linker vorderer Eckpunkt, bei den durch die Positionsvariable angegebenen Koordinaten liegt, so daß ihre Position insgesamt durch Ändern des Werts der Positionsvariablen verändert werden kann, nicht aber die Position der Instrumente innerhalb der Gruppe.

Fig. 1 stellt schematisch das Prinzip einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Wiedergabevorrichtung dar. Zwei Eingangskanäle  $A_1$  und  $A_2$  ist jeweils eine Verarbeitungseinrichtung  $V_1$  bzw.  $V_2$  zugeordnet, welche jeweils aus den Audiosignalen auf dem zugeordneten Kanal ( $A_1$  bzw.  $A_2$ ) und einer ebenfalls zugeordneten Ortskoordinaten  $X_1$  bzw.  $X_2$  Ausgangssignale  $C_{11}, C_{12}, C_{13}, \dots$  bzw.  $C_{21}, C_{22}, C_{23}, \dots$  für die einzelnen Lautsprecher so bestimmen, daß für einen Zuhörer der Eindruck einer virtuellen Schallquelle an dem Ort  $X_1$  bzw.  $X_2$  entstände, wenn diese Signale direkt an die Lautsprecher weitergeleitet würden. Die für einen bestimmten Lautsprecher vorgesehenen Ausgangssignale von  $V_1$  und  $V_2$  werden dann in einer Mischvorrichtung einander überlagert, die hier schematisch als eine Reihe von Blöcken  $M_1, M_2, M_3, \dots$  dargestellt ist, welche jeweils einem Lautsprecher zugeordnet sind und zugehörige Ausgangssignale für die einzelnen Lautsprecher abgeben, also  $D_1$  für einen ersten Lautsprecher,  $D_2$  für einen zweiten Lautsprecher usw., so daß insgesamt der Eindruck von zwei Schallquellen an den Orten  $X_1$  und  $X_2$  entsteht. Fig. 2 zeigt eine Abwandlung dieses Prinzips, bei der einer Positionsvariablen jeweils Gruppen von Eingangskanälen  $A_{11}, A_{12}, \dots$  bzw.  $A_{21}, A_{22}, \dots$  zugeordnet sind. Dabei ist für jeden der Eingangskanäle in der entsprechenden Verarbeitungseinheit eine zugeordnete Relativkoordinate gespeichert, also z. B.  $y_{11}$  für den Kanal  $A_{11}$ ,  $y_{12}$  für den Kanal  $A_{12}$  usw. Die Verarbeitungseinrichtung  $V_1$  erzeugt nun Ausgangssignale  $C_{ij}$  derart, daß für einen Zuhörer der Eindruck entsteht, bei einem Ort  $x_1 + y_{11}$  befinde sich eine Schallquelle, welche Ton entsprechend den Signalen auf dem Kanal  $A_{11}$  abgibt, bei der Stelle  $x_1 + y_{12}$  befinde sich eine Schallquelle, welche Ton entsprechend den Signalen auf dem Kanal  $A_{12}$  abgibt usw. Die entsprechenden Signale der einzelnen Verarbeitungseinheiten werden dann wie vorangehend beschrieben in dem Mischer zusammengeführt.

Eine mögliche Realisierung eines Wiedergabegeräts besteht, wie schematisch in Fig. 3 dargestellt, im wesentlichen aus einer Steuereinheit 1, einer Bedien- und Anzeigeeinheit 3 und den Lautsprechern 5. Die Steuereinheit 1 empfängt Eingangsdaten von einem Tondatenträger 7, auf die von einer Datenkontrolleinheit 11 der Steuereinheit 1 zugegriffen wird. Die Datenkontrolleinheit 11 dient der Aktivierung von gespeicherten Daten und der Zuleitung der akustischen Daten und der Raumpositionsdaten an die Audioverarbeitungseinheit (APU). Die Audioverarbeitungseinheit 12 kommuniziert mit der Bedien- und Anzeigeeinheit 3 und gestattet die Änderung und Bearbeitung der eingelesenen akustischen Daten entsprechend den Eingaben eines Benutzers oder einem vorbestimmten Programm. Sie kommuniziert weiterhin mit einer 3D-Steuereinheit 13, welche auf der Grundlage der Positionsdaten für die einzelnen Lautsprecher die Größen berechnet, welche erforderlich sind, um eine Schallquelle an einem bestimmten Ort im Raum zu simulieren. In einem Mischer 14 werden die Ansteuerungssignale für mehrere virtuelle Schallquellen überlagert und abgestimmt und dann in herkömmlicher Weise über A/D-Wandler 15 und Verstärker

16 an die Lautsprecher 5 abgegeben.

Fig. 4 zeigt eine mögliche Anordnung der Lautsprecher im Raum. Es sind insgesamt 13 Lautsprecher  $S_1$  bis  $S_{13}$  vorgesehen, wobei acht Lautsprecher an den Eckpunkten eines Quaders und fünf weitere Lautsprecher in den jeweiligen Flächenmittelpunkten dieses Quaders angeordnet sind. Die Lautsprecher geben sowohl nach innen in das Zentrum des Quaders als auch nach außen Schall ab. Da bei tiefen Tönen eine exakte Lokalisierung durch das menschliche Gehör nicht möglich ist, kann ein Teil der Lautsprecher, beispielsweise die Lautsprecher in den Flächenmittelpunkten, nur mittlere und höhere Frequenzen abstrahlen, während tiefe Frequenzen nur von in größerem Abstand voneinander angeordneten Lautsprechern, z. B. den Lautsprechern an den Eckpunkten des Quaders abgestrahlt werden.

Das dargestellte Wiedergabesystem arbeitet wie folgt.

Von dem Tondatenträger, z. B. einer Festplatte, einer CD, einem Tonband oder dergleichen, werden für jede virtuelle Schallquelle einerseits die akustischen Daten und andererseits die zugehörigen Positionsdaten über die Datenkontrolleinheit 11 eingelesen und der Audioverarbeitungseinheit zugeführt. In der Audioverarbeitungseinheit 12 werden diese Daten, sofern gewünscht, entsprechend den Vorgaben eines Benutzers modifiziert, z. B. durch interaktive Kommunikation mit der Bedien- und Anzeigeeinheit 3. So kann insbesondere die Position der virtuellen Schallquellen gegenüber der Vorgabe des Tondatenträgers verändert werden, etwa dergestalt, daß die virtuelle Position eines Solisten gegenüber dem Orchester bei der Wiedergabe verschoben wird. Weiterhin kann für jede virtuelle Schallquelle getrennt die Wiedergabegeschwindigkeit unabhängig von der Frequenz variiert werden, wobei Mittel und Verfahren zum Variieren der Wiedergabegeschwindigkeit für sich bekannt sind. Ebenso ist es möglich, – ebenfalls in für sich bekannter Weise – die akustischen Frequenzen bei der Wiedergabe insgesamt anzuheben oder abzusenken, so daß beispielsweise die Tonlage eines Sängers verändert werden kann. Es kann also nicht nur, wie bei herkömmlichen Equalizern, die Amplitude eines Frequenzbereichs verändert werden, sondern es können auch einzelne Frequenzbereiche unabhängig voneinander verschoben werden. Zusätzlich können bekannte Effekte, z. B. Schall, Echo, Verzerrungen usw., erzeugt werden, wobei jedoch im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen diese Effekte auf jede einzelne virtuelle Schallquelle unabhängig angewendet werden können.

Das Ergebnis dieser Verarbeitung in der Audioverarbeitungseinheit sind also wieder einerseits Audiodaten für jede virtuelle Schallquelle und andererseits die zugehörigen Positionsdaten für diese virtuelle Schallquelle, welche entsprechend den Vorgaben eines Benutzers oder eines Programms verändert wurden. Selbstverständlich können die von dem Tonträger eingelesenen Daten auch unverändert bleiben. Von der 3D-Steuereinheit 13 werden für die einzelnen Lautsprecher  $S_1$  bis  $S_{13}$  die Größen berechnet, welche erforderlich sind, um eine virtuelle Schallquelle an der durch die Positionsdaten vorgegebenen Position zu simulieren, also z. B. der relative Pegel und die relative Phase sowie die Frequenzverteilung für die einzelnen Lautsprecher. Hierfür sind in der 3D-Steuereinheit 13 die Anordnung der Lautsprecher  $S_1$  bis  $S_{13}$  sowie Informationen über die Größe und die akustischen Eigenschaften des Wiedergaberaumes gespeichert. Diese letztgenannten Daten können beispielsweise durch Abspielen von Testaufzeichnungen ermittelt werden, wobei über Mikrophone der tatsächlich erzeugte akustische Effekt ermittelt wird und daraufhin die Ansteuerung der Lautsprecher derart verändert wird, daß die Wiedergabe mit den Vorgaben der Testaufzeichnungen, insbesondere hinsichtlich der räumlichen Position einer virtuellen Schallquelle, mög-

lichst genau übereinstimmt.

Die 3D-Steuereinheit berechnet nun auf der Grundlage der von der Audioverarbeitungseinheit 12 empfangenen, ggf. modifizierten Positionsdaten, die, wie vorangehend beschrieben, in einem normierten Standardkoordinatensystem formuliert sind, und der Abmessungen des Raums die tatsächlichen Koordinaten im Raum, an der eine virtuelle Schallquelle erklingen soll. Dann werden auf der Grundlage dieser nun raumbezogenen Koordinaten und der zugehörigen akustischen Daten von der Audioverarbeitungseinheit die Ausgangssignale 12 für die Lautsprecher berechnet, welche erforderlich sind, um den akustischen Eindruck einer virtuellen Schallquelle an der entsprechenden Position im Raum zu erzeugen. Hierbei können sowohl Amplituden- als auch Phaseneffekte zur Erzeugung eines räumlichen Klangeindrucks vermittelt werden, wie sie allgemein auf dem Gebiet der Stereophonie bekannt sind. Insbesondere kann in die Berechnung der Ansteuerungssignale für die Lautsprecher auch die Position eines Zuhörers miteinbezogen werden, welche entweder als Standardposition abgespeichert ist oder über die Bedien- und Anzeigeeinheit 3, einen Positionssensor (nicht dargestellt), welcher die Position eines Zuhörers erfaßt, oder eine andere geeignete Weise eingegeben werden kann. Die von der Audioverarbeitungseinheit 12 erzeugten Ausgangssignale werden dann einem Mischer 14 zugeführt, welcher die für die einzelnen virtuellen Schallquellen erzeugten Lautsprecherdaten in bekannter Weise überlagert und Ausgangssignale erzeugt, welche dem erwünschten Gesamtklangbild aller virtuellen Schallquellen entsprechen. Diese Ausgangssignale werden dann nach einer A/D-Wandlung in bekannter Weise über einen Verstärker an die Lautsprecher 5 abgegeben.

In der vorangehenden Beschreibung wurden der Einfachheit halber die Datensteuereinheit, die Audioverarbeitungseinheit, die 3D-Steuereinrichtung und der Mischer als getrennte Elemente dargestellt. Gemäß der bevorzugten Ausführungsform ist die Audioverarbeitungseinheit 12 ein Computersystem mit hoher Rechenleistung, welches mehrere Unterfunktionsblöcke aufweisen kann, welche auf die gleichen Daten zugreifen können. Diese Aufteilung in Unterfunktionsblöcke kann beispielsweise durch getrennte Recheneinheiten mit einem schnellen internen Bus oder durch parallel arbeitende Hardwareeinheiten eines einzigen Rechners mit einem gemeinsamen Speicher erfolgen. Die 3D-Steuereinrichtung besteht gemäß einer bevorzugten Ausführungsform aus einem Rechner mittlerer Leistung, der mit den anderen Systemkomponenten über ein Netzwerk gekoppelt ist. Die Datensteuereinheit besteht vorzugsweise aus einem oder mehreren Hochleistungscomputern, welche über eine schnelle Schnittstelle, z. B. eine SCSI-Schnittstelle, verschiedene Datenträger zugreifen können. Mehrere der dargestellten Funktionsblöcke, z. B. die Audioverarbeitungseinheit und der Mischer 14, können jedoch auch in einem physikalischen Gerät zusammengefaßt sein oder die gesamte Steuereinheit 1 kann durch einen einzigen Rechner realisiert werden. Ebenso können die einzelnen Funktionsblöcke sowohl durch Hardware- als auch durch Software realisiert sein.

#### Patentansprüche

1. Tonwiedergabevorrichtung, welche eine Einrichtung (11) zum Empfangen von elektrischen Signalen mit akustischer Information (Audiosignalen) auf mehreren Eingangskanälen, mehrere Lautsprecher ( $S_1$  bis  $S_{13}$ ) zur Tonwiedergabe und eine Steuereinrichtung (1) zum Ansteuern der Lautsprecher aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuereinrichtung (1) eine

Einrichtung zum Empfangen zumindest eines Signals zusätzlich zu den Audiosignalen aufweist, welches den Wert einer Positionsvariablen in einem zwei- oder dreidimensionalen Raum angibt, die einem Eingangskanal oder einer Gruppe von Eingangskanälen zugeordnet ist und einen Bezugspunkt für die Position einer virtuellen Schallquelle bei der Wiedergabe darstellt, und in Abhängigkeit von dem Wert der Positionsvariablen und den Audiosignalen auf den dieser Positionsvariablen zugeordneten Eingangskanälen Signale zur Ansteuerung der Lautsprecher ( $S_1$  bis  $S_{13}$ ) derart erzeugt, daß für einen Zuhörer der Eindruck einer virtuellen Schallquelle oder einer Gruppe von virtuellen Schallquellen erzeugt wird, deren scheinbare Lage dem Wert der Positionsvariablen entspricht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (1) die Lautsprecher ( $S_1$  bis  $S_{13}$ ) derart ansteuert, daß zumindest ein Ansteuersignal für einen der Lautsprecher von den Signalen auf mehreren Eingangskanälen abhängt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung eine Mischvorrichtung (14) aufweist, welche die in Abhängigkeit von einer Positionsvariablen erzeugten Signale zur Ansteuerung der einzelnen Lautsprecher ( $S_1$  bis  $S_{13}$ ) mit weiteren Ansteuersignalen für diese Lautsprecher mischt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (1) für jede von mehreren Positionsvariablen eine Gruppe von Ansteuersignalen für die individuellen Lautsprecher ( $S_1$  bis  $S_{13}$ ) erzeugt, welche jeweils von dem Wert dieser Positionsvariablen sowie den Audiosignalen auf dieser Positionsvariablen jeweils eindeutig zugeordneten Eingangskanälen abhängen, und eine Mischvorrichtung (14) für jeden Lautsprecher die diesem Lautsprecher zugeordneten Ansteuersignale jeder Gruppe derart überlagert, daß für den Zuhörer der Eindruck von mehreren virtuellen Schallquellen oder Gruppen von Schallquellen entsteht, deren Position jeweils dem Wert einer der Positionsvariablen entspricht.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einer Positionsvariablen eine Gruppe von Eingangskanälen mit Audiosignalen zugeordnet ist, wobei die Steuereinrichtung jedem der Eingangskanäle eine vorab festgelegte Relativkoordinate zuordnet, welche eine Position relativ zu dem durch die Positionsvariablen angegebenen Ort angibt, und auf der Grundlage der Positionsvariablen, der den Kanälen zugeordneten Relativkoordinaten und den Audiosignalen auf den entsprechenden Eingangskanälen Ansteuersignale für die einzelnen Lautsprecher derart erzeugt, daß für den Zuhörer der akustische Eindruck einer Gruppe von mehreren virtuellen Schallquellen in einer festen räumlichen Beziehung entsprechend den vorgegebenen Relativkoordinaten entsteht, wobei die Lage dieser Gruppe insgesamt dem Wert der Positionsvariablen entspricht.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (11) zum Einlesen des Werts einer Positionsvariablen von einem Aufzeichnungsmedium enthält.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (3) zum interaktiven Eingeben des Werts einer oder mehrerer Positionsvariablen durch einen Benutzer.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung die Frequenz des einer bestimmten virtuellen Schallquelle

zugeordneten Anteils der von den Lautsprechern abgegebenen akustischen Signale in Abhängigkeit von der zeitlichen Änderung des Wertes der zugehörigen Positionsvariable verändert.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuerung der Lautsprecher ( $5_1$  bis  $5_{13}$ ) in Abhängigkeit von den Signalen eines Sensors für die Position eines Zuhörers erfolgt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich mehrere Lautsprecher auf den Grenzflächen eines imaginären dreidimensionalen Körpers befinden.

11. Verfahren zur Tonwiedergabe, dadurch gekennzeichnet, daß von einem Tondatenträger Audiosignale sowie Daten betreffend die Position zumindest einer virtuellen Schallquelle eingelesen werden und eine Ansteuerung von mehreren in einem Wiedergaberaum verteilten Lautsprechern in Abhängigkeit von den Audiosignalen und den Positionsdaten derart erfolgt, daß für einen Zuhörer der Eindruck einer virtuellen Schallquelle oder einer Gruppe von virtuellen Schallquellen erzeugt wird, deren scheinbare Position dem Wert der Positionsvariablen entspricht.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest aus einem ersten und einem zweiten Audiosignal jeweils Ansteuersignale für verschiedene Lautsprecher erzeugt werden, die jeweils von dem Wert einer dem ersten bzw. zweiten Eingangssignal zugeordneten ersten bzw. zweiten Positionsvariablen derart abhängen, daß für einen Zuhörer der Eindruck von zwei virtuellen Schallquellen an zwei durch die Positionsvariablen festgelegten Positionen entsteht, wobei zumindest für einen Lautsprecher auf das erste und das zweite Eingangssignal zurückgehende Ansteuersignale zu einem kollektiven Ansteuersignal für diesen Lautsprecher kombiniert werden.

13. Verfahren zum Herstellen einer Tonaufzeichnung, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Aufzeichnungsmedium zum einen Signale betreffend der wiederzugebenden Schallsignale einer Schallquelle und getrennt hiervon Daten hinsichtlich der Position der Schallquelle im Raum aufgezeichnet werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Position einer Schallquelle durch einen Positionssensor ermittelt wird und die aufgezeichneten Positionsdaten auf der Grundlage der Signale des Positionssensors erstellt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionsdaten unabhängig von einer realen Schallquelle erstellt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionsdaten auf der Grundlage der Signale einer interaktiven Benutzerschnittstelle erstellt werden.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

- Leerseite -

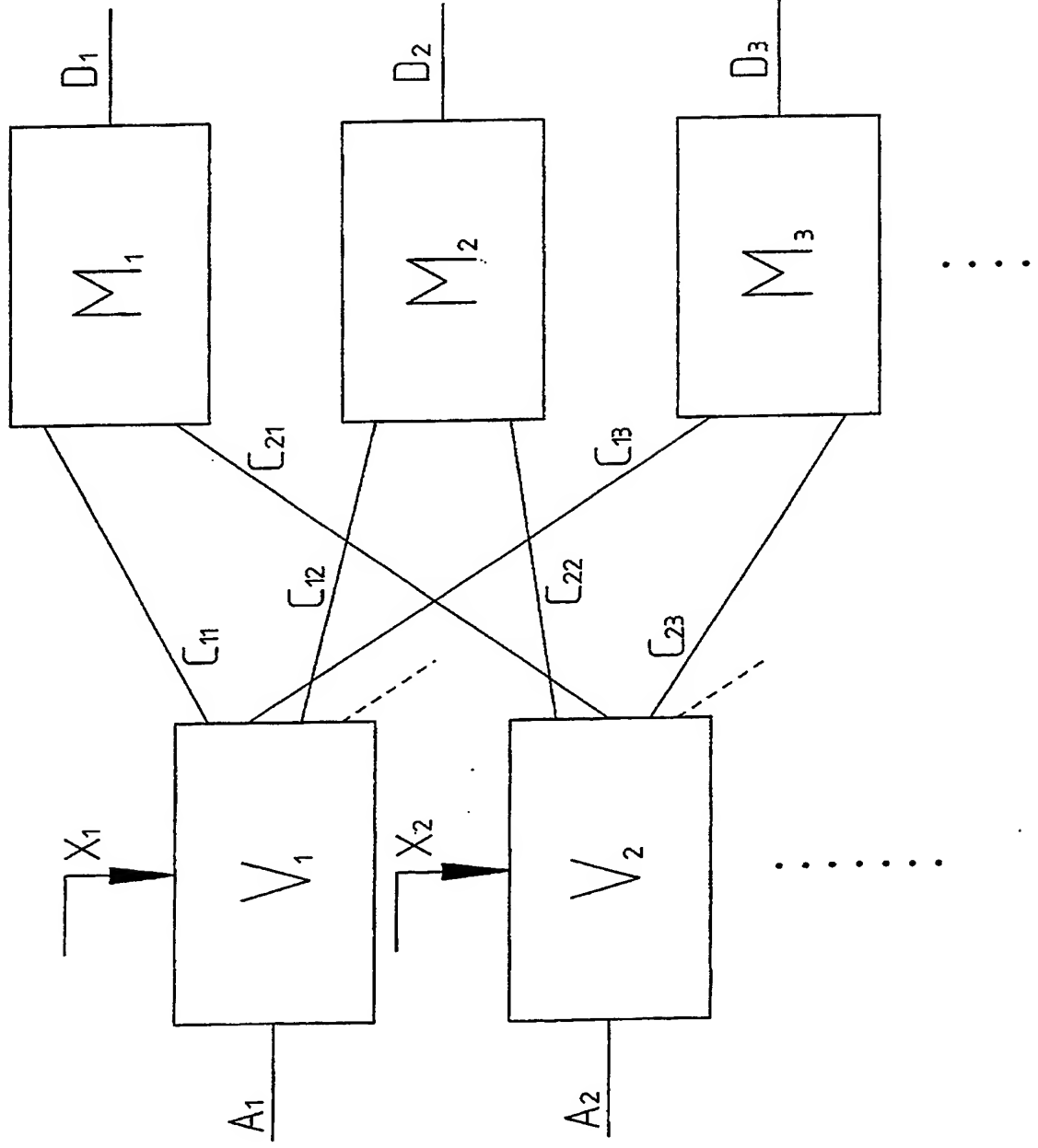


Fig. 1

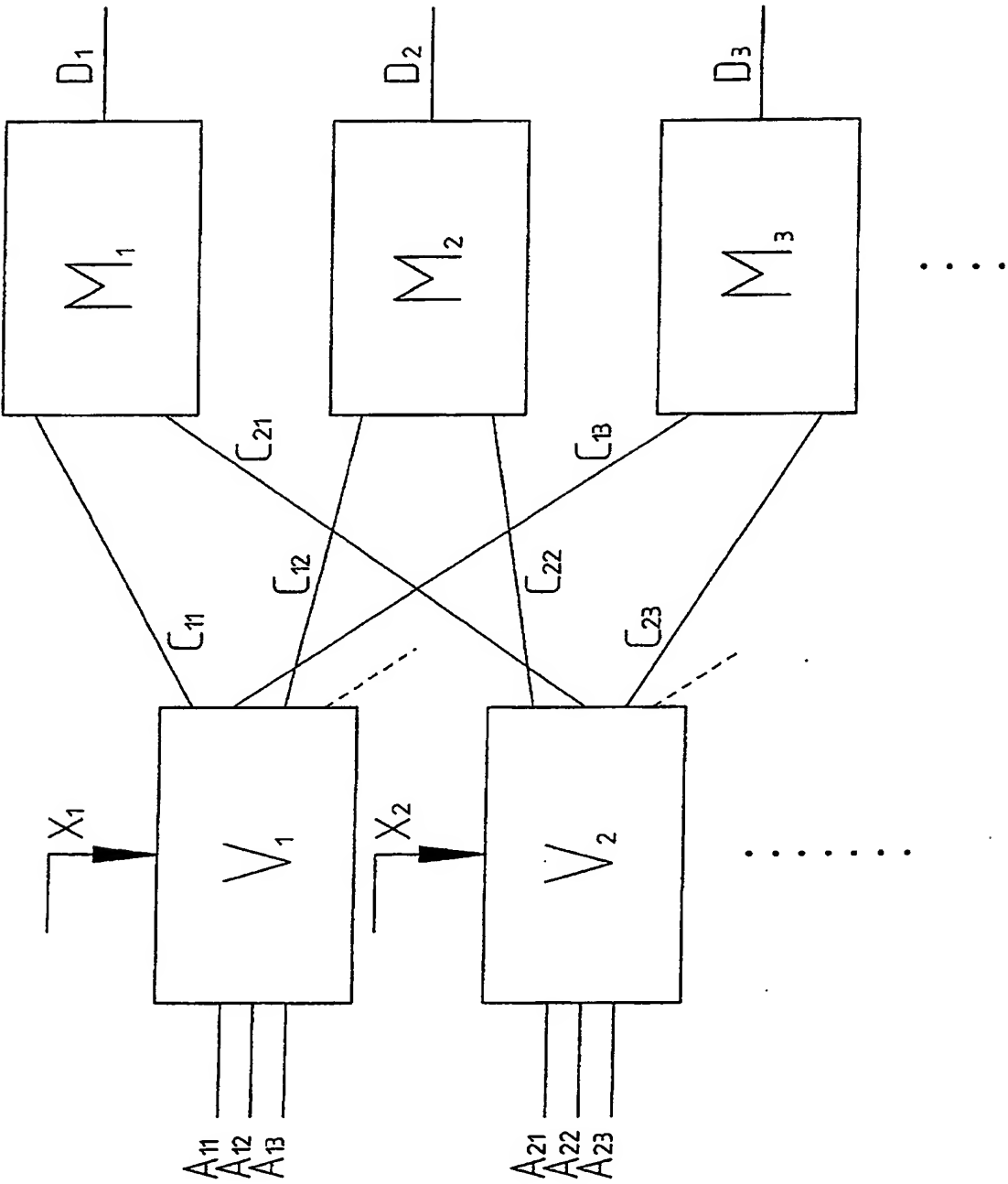


Fig. 2

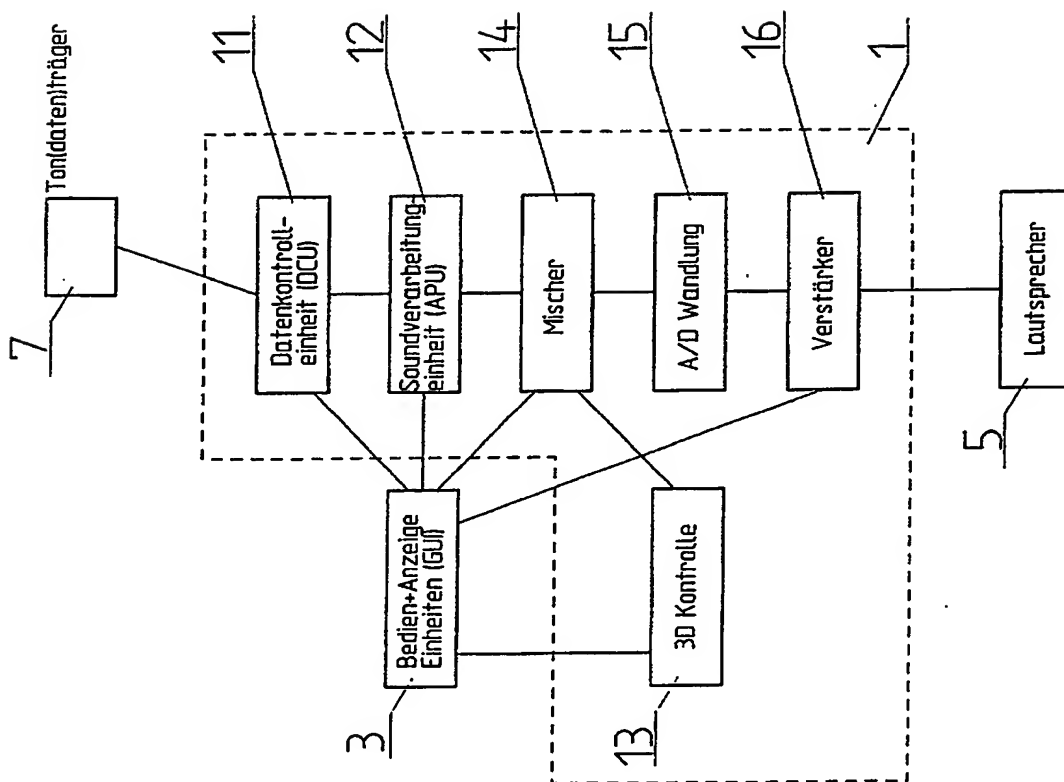


Fig. 3

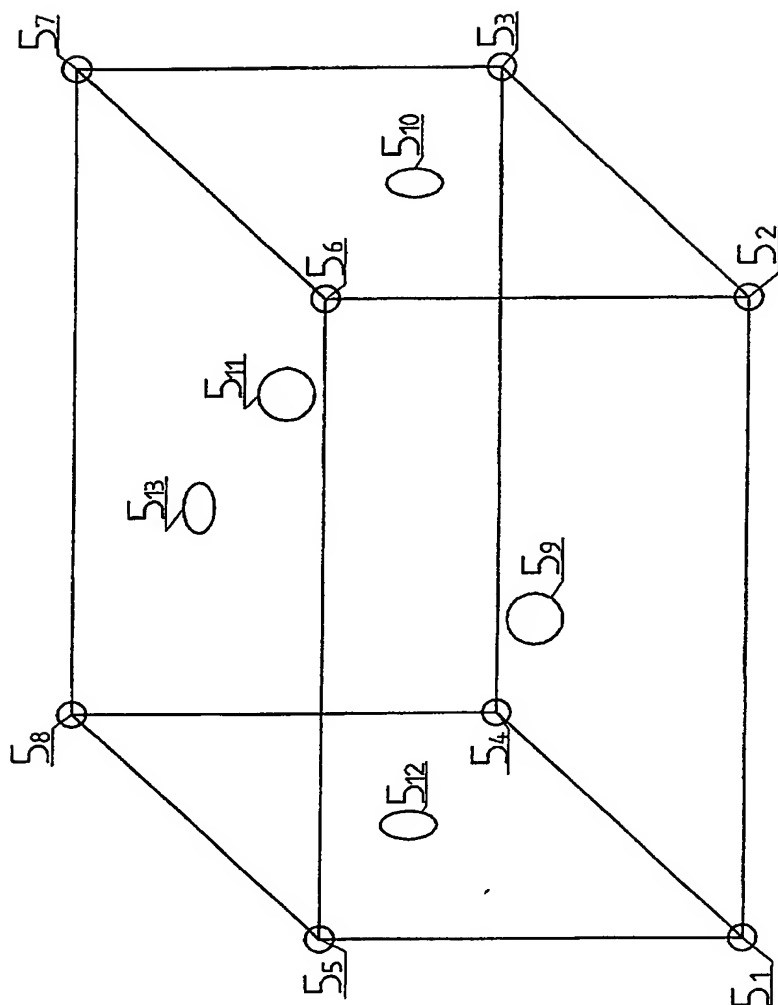


Fig. 4